

С.В. МЕЛКУМЯН, К.Дж. МИРЗАБЕКЯН

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕРМОПАР В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Рассмотрены особенности эксплуатации термопар (термоэлектрический преобразователь) в промышленности, а также вопросы их применения в научных исследованиях и системах автоматического контроля для измерения температуры.

Ключевые слова: термопара, термо-ЭДС, периодический межповерочный интервал, калибровка, диапазон температур.

Для измерения температуры на технологическом оборудовании Армянской атомной электростанции (АЭС) используется большое количество термопар типа ТХК (L). С их помощью измеряются температура теплоносителя в реакторной установке (реактор типа ВВЭР-440) блока №2 Армянской АЭС, а также температура теплоносителя в подводящих и отводящих трубопроводах и парогенераторах первого контура. Эксплуатационный срок термопар типа ТХК (L) для атомных электростанций при измеряемой температуре от 60 °С до 400 °С установлен производителями не менее 10 лет, а межповерочный интервал - 2 года. Рабочий диапазон измеряемой температуры термопарами ТХК (L) на АЭС колеблется в пределах 150 ... 350 °С. Снятие для поверки (калибровки) и установка термопар на место в установленных производителями периодических межповерочных интервалах создавали множество неудобств и частично были невозможны, что привело к необходимости проведения обследования и поверки/калибровки соответствующих термопар, отработавших эксплуатационный срок при их замене.

В 2010 г. на Армянской АЭС при замене термопар на аналогичные системы внутриреакторного контроля блока №2, отработавших 18 лет и имеющих максимальную наведенную активность, совместно с производителем монтажных работ были проведены обследование и калибровка (поверка) выборочных термопар [1] с целью определения индивидуальных статических характеристик четырех термопар и их соответствия номинальным статическим характеристикам (НСХ). Измерения проводились в двух реперных точках олова ($t_{затв}=231,93$ °С) и свинца ($t_{затв}=327,46$ °С) при нагреве и охлаждении. Термопары, отработавшие в составе системы внутриреакторного контроля блока №2 Армянской АЭС 18 лет и имеющие максимальную наведенную активность, показали максимальное отклонение от номинальных значений статических характеристик в пределах 0 °С ... +2,5 °С во всех точках, что

соответствует второму классу точности по ГОСТ 8.585-2001 [2]. Полученные данные приведены в табл. 1. Пределы допускаемых отклонений термо-ЭДС термопар ΔE рассчитаны по формуле

$$\Delta E = \Delta t \frac{dE}{dt},$$

где t - значение измеряемой температуры, °С; Δt - предел допускаемого отклонения термо-ЭДС термопары от НСХ преобразования, °С; $\frac{dE}{dt}$ –чувствительность термопары, рассчитанная для измеренного значения температуры, $mB^{\circ}C^{-1}$.

Таблица 1

Экспериментальные данные термопар после 18 лет эксплуатации

№ п/п	Зав. № датчика	Результаты измерения при 231,93 °С	Отклонение, °С	Результаты измерения при 327,46 °С	Отклонение, °С	Пределы допускаемых отклонений термо-ЭДС от НСХ $\pm \Delta t$, °С
1	1	233,940	2,012	329,939	2,477	от -40 до 360 2,5; свыше 360 до 800 0,7+0,005t
2	3	233,032	1,104	329,067	1,605	
3	4	232,981	1,053	327,468	0,006	
4	2	232,297	0,369	328,146	0,684	

Если предположить, что в момент установки термопары уже имели некоторое отклонение от номинальных значений статических характеристик в пределах допуска, то в результате анализа полученных данных по четырем термопарам возможна минимальная деградация номинальных статических характеристик или полное ее отсутствие у данных термопар за 18 лет работы в системе внутриреакторного контроля. Обследование и поверка (калибровка) были задокументированы:

- актом о состоянии термоэлектрических преобразователей;
- протоколом поверки с результатами произведенных работ;
- справкой о радиационных условиях работы датчиков.

Заменённые в 2010г. термопары системы внутриреакторного контроля блока №2 Армянской АЭС после отработавшего срока службы, заданного производителем, а также в рамках продления срока службы Армянской АЭС в 2021 году вновь были заменены на термопары того же типа.

При замене термопар руководством Армянской АЭС совместно с производителем (монтажником) термопар вновь было принято решение произвести обследование и калибровку (поверку) отработавших 11 лет и имеющих максимальную наведенную активность 102 выборочных термопар, которые состав-

ляют примерно 50% от всего количества эксплуатирующихся в системе внутриварового контроля. Калибровку термопар производила лаборатория метрологии Армянской АЭС, аккредитованная по стандарту ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 [3] на право проведения калибровочных работ в области температурных и теплофизических величин. Поверку термопар проводил производитель, имеющий аттестат аккредитации в области обеспечения единства измерения (поверки) температурных и теплофизических величин. Измерения были задокументированы сертификатом калибровки и протоколом поверки. В обоих случаях измерения проводились на Армянской АЭС совместно с производителем-монтажником. Целью обследования, калибровки и поверки отработавших 11 лет и имеющих максимальную наведенную активность термопар, как и в предыдущий раз, было определение индивидуальных статических характеристик термопар и их соответствие номинальным статическим характеристикам. Термопары, отработавшие в составе системы внутриварового контроля блока №2 Армянской АЭС 11 лет и имеющие максимальную наведенную активность, во всех точках вновь показали максимальное отклонение от номинальных значений статических характеристик в пределах от 0 °С до +2,5 °С, что соответствует второму классу точности по ГОСТ 8.585-2001. Полученные данные с максимальными и минимальными отклонениями приведены в табл. 2.

Таблица 2

Экспериментальные данные термопар после 11 лет эксплуатации

№ п/п	Зав. № датчика	Результаты измерения при 350,0 °С	Отклонение, °С	Результаты измерения при 400,0 °С	Отклонение, °С	Пределы допускаемых отклонений термо-ЭДС от НСХ $\pm \Delta t, ^\circ\text{C}$
1	100484	352,283	2,283	402,005	2,005	от -40 до 360 2,5; свыше 360 до 800 0,7+0,005t
2	100493	352,341	2,341	401,469	1,469	
3	100614	349,801	-0,199	399,289	-0,711	
4	100528	350,286	0,286	401,126	1,126	

Данные термопары уже имели некоторое отклонение от номинальных значений статических характеристик в пределах допустимого значения, зафиксированное в паспортах устройств, представленных заводом - изготовителем. В результате анализа полученных результатов по 102 термопарам можно предположить минимальную деградацию номинальных статических характеристик или полное ее отсутствие у данных термопар за 11 лет работы в системе внутриварового контроля. Обследование и межлабораторные сличения (калибровка/поверка) были задокументированы:

- сертификатом калибровки;
- протоколом поверки;
- протоколом о результатах произведенных работ;
- справкой о радиационных условиях работы датчиков.

Срок службы и точность измерения термоэлектрических преобразователей (термопар) напрямую зависят от того, насколько термоэлектроды сохранили свои свойства. Огромную роль в этом играют среда, с которой контактирует датчик, а также механические воздействия. Эксплуатируемые в составе системы внутриреакторного контроля блока №2 Армянской АЭС термопары находятся в защитных каналах и не контактируют непосредственно с измеряемой средой, но при снятии на поверку/калибровку, а в дальнейшем и на установку термопары подвергаются механическим воздействиям. Необходимо отметить, что термопара находится при постоянном воздействии ионизирующего излучения примерно при температуре 300 °С.

Как уже было отмечено, назначенный производителем срок службы термопар соответствующего типа при измеряемой температуре от 60 °С до 400 °С составляет 10 лет, а рекомендуемый межповерочный (межкалибровочный) интервал - 2 года.

На основании экспериментальных данных (обследование, поверка и калибровка), полученных по номинальным статическим характеристикам термопар в исполнении для атомных станций, с научной точки зрения можно утверждать, что гарантийный срок и межповерочный (межкалибровочный) интервал на термопары типа ТХК (L) при измеряемой температуре от 60 °С до 400 °С составляют 10 лет. Следует также отметить, что ионизирующее излучение (гамма-излучение) не влияет на НСХ термопар типа ТХК (L) при эксплуатации в пределах 10...15 лет.

В заключение перечислим основные преимущества увеличения межповерочного (межкалибровочного) интервала вышеупомянутых термопар:

- уменьшение механических воздействий на термопары во время снятия, проведения поверок и/или калибровок, а также во время их установления в каналах термоконтроля блока защитных труб реактора;
- снижение индивидуальных и коллективных доз облучения персонала (принцип ALARA) и эффективное распределение рабочего времени (трудозатраты человек/час).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Преображенский В.П.** Теплотехнические измерения и приборы. - 3- издание. - М.: Энергия, 1978. – 658 с.

2. ГОСТ 8.585-2001. Термопары.
3. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.

Ս.Վ. ՄԵԼԲՈՒՄՅԱՆ, Կ.Ջ. ՄԻՐԶԱԲԵԿՅԱՆ

**ԹԵՐՄՈՂՈՒՅՊԵՐԻ ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ
ԱՏՈՄԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱՅԻ ԲՆԱԳԱՎԱՌՈՒՄ**

Դիտարկված են թերմոզույգերի (ջերմաէլեկտրական կերպափոխիչ) շահագործման առանձնահատկությունները արդյունաբերությունում, ինչպես նաև դրանց կիրառությունը զիտական հետազոտություններում և ջերմաստիճանի չափման ավտոմատ կառավարման համակարգերում:

Առանցքային բաներ. թերմոզույգ, թերմոէլշու, պարբերական ստուգաչափման միջակայք, տրամաչափարկում, ջերմաստիճանային միջակայք:

S.V. MELKUMYAN, K.J. MIRZABEKYAN

**OPERATIONAL FEATURES OF USING THERMOCOUPLES
IN NUCLEAR POWER INDUSTRY**

Operational features of using thermocouples (thermoelectric converter) in the industry, as well as in scientific research and automatic control systems for measuring temperature are considered.

Keywords: thermocouple, thermo-EMF, periodic calibration interval, calibration, temperature range.

УДК 621.317.43

Б.М. МАМИКОНЯН, С.А. КАЗАРЯН

**ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ АМПЛИТУДНО-
ФАЗОВЫМ МЕТОДОМ
(Гюмри)**

Исследованы особенности применения амплитудно-фазового метода для измерения составляющих комплексного магнитного сопротивления ферромагнитных материалов, описана экспериментальная установка, представлены результаты измерений.

Ключевые слова: магнитопровод, магнитное сопротивление, магнитная индукция, измерение, амплитудно-фазовый метод.

Введение. В электромагнитных устройствах переменного тока в магнитопроводе из ферромагнитного материала возникают потери электрической энергии от гистерезиса и вихревых токов, вследствие чего между вектором